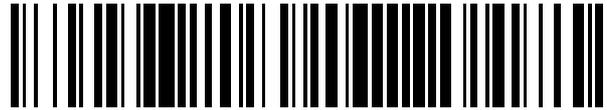


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 127**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2011 E 11702190 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2531723**

54 Título: **Método para hacer funcionar una central de energía eólica**

30 Prioridad:

05.02.2010 US 301886 P
05.02.2010 DK 201000099

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

06.06.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

ZHOU, YU;
HERBSLEB, EIK;
SPRUCE, CHRIS y
HALES, KELVIN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 573 127 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para hacer funcionar una central de energía eólica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para hacer funcionar una central de energía eólica. En particular, la invención se refiere a un método para hacer funcionar una central de energía eólica en el que el funcionamiento de la central de energía se realiza en relación con una predicción de viento de datos de viento para un intervalo de tiempo que se extiende a un tiempo futuro. La invención se refiere además a un método para hacer funcionar una central de energía eólica que hace uso de un conjunto de sensores que leen los datos de funcionamiento en relación con la carga en diversos componentes en la central de energía eólica. Los datos de funcionamiento pueden usarse para proporcionar una estimación de un estado de funcionamiento de la central de energía eólica, en particular si está presente o no una condición de fallo para un componente de la central de energía eólica.

Técnica de antecedentes

15 El coste de producción de energía en centrales de energía eólica recae en las inversiones iniciales en la central y los costes de mantenimiento. Los componentes incluidos en las centrales de energía eólica están expuestos al desgaste, resultante de una carga con una gran variedad durante el funcionamiento de la central de energía. Esto se aplica en particular a componentes que se someten a cargas que fluctúan u oscilan tales como elementos de cajas de engranajes y transmisión. Las cargas que fluctúan u oscilan tienen tendencia a dar como resultado fatiga de los componentes. Con el fin de garantizar que una inversión inicial en una central de energía eólica genera energía al coste más bajo posible es necesario tener un programa de mantenimiento para la central, de manera que puede protegerse el funcionamiento de la central de energía eólica. La práctica de mantenimiento actual para parques eólicos consiste en mantenimiento programado y mantenimiento no programado.

20 Con el fin de mejorar la posibilidad de programar de manera precisa el mantenimiento, se han sugerido sistemas de monitorización de condición de turbina. Con la instalación de un sistema de monitorización de condición de turbina, es posible la detección temprana del fallo de componente. Un ejemplo de un sistema para monitorizar componentes de caja de engranajes se describe en el documento EP1930855.

25 El documento EP1930855 da a conocer un sistema de estimación de vida útil de caja de engranajes que estimará la vida útil restante de la caja de engranajes basándose en los datos de carga de funcionamiento medidos a través de sensores. Se calculan cargas individuales en componentes. A partir de las cargas individuales, puede obtenerse una evaluación de la vida útil restante como una estimación en tiempo real. Puede establecerse un programa de mantenimiento usando la información acerca de la vida útil restante calculada. A pesar de que el método descrito en el documento EP1930855 mejora la capacidad para decidir intervalos de mantenimiento apropiados, son deseables mejoras adicionales con el fin de reducir adicionalmente el riesgo de fallo de componente y de reducir el riesgo de la necesidad de mantenimiento no programado.

30 El mantenimiento no programado ocurre habitualmente cuando se detecta un fallo de componente y han de llevarse a cabo acciones de reparación o sustitución. El coste del mantenimiento no programado es uno de los aspectos que contribuyen más al coste de mantenimiento y funcionamiento de la turbina.

Adicionalmente, el documento EP 1 911 968 A1 da a conocer un controlador de modelo predictivo que optimiza la tasa de daño de componentes de turbina.

Sumario de la invención

35 40 Es un objeto de la invención reducir la necesidad de mantenimiento no programado. Este objeto se consigue mediante un método para hacer funcionar una central de energía eólica según la reivindicación 1. Según la invención, el método para hacer funcionar una central de energía eólica incluye las etapas de hacer funcionar la central de energía eólica según un programa de parámetros actual, realizar una predicción de viento de datos de viento para un intervalo de tiempo que se extiende a un tiempo futuro, determinar un nivel de carga de fatiga deseado de un componente de central de energía eólica en el tiempo futuro, y durante el funcionamiento de dicha central de energía eólica generar un programa de parámetros actualizado para proporcionar el nivel de carga de fatiga deseado en dicho tiempo futuro si está expuesto a las condiciones de viento predichas durante dicho intervalo de tiempo. Generalmente el intervalo de tiempo ΔT se extiende desde un tiempo actual t_0 a un tiempo futuro T .

45 50 El programa de parámetros incluye valores que implementan características de funcionamiento deseadas de la central de energía eólica en función de la velocidad de viento v . El diseñador de la central de energía eólica elige los valores de un programa de parámetros inicial y son dependientes de las particularidades de la central de energía eólica real que se controla. El programa de parámetros puede incluir series de valores para un par de torsión, velocidad de rotor y ángulo de paso deseado en función de la velocidad de viento. Generalmente un programa de parámetros se usa para optimizar el funcionamiento o producción de energía eólica o el coste de energía. El programa de parámetros puede representar por tanto un esquema de control tal como se describe en el artículo "Reducing cost of energy by a self tuning controller" como se dio a conocer en la conferencia de energía eólica

Europea, 1-5 de marzo de 1999, Niza, Francia, págs. 873 - 876. Alternativamente el programa de parámetros puede representarse mediante una curva de potencia que asigna una velocidad de viento a una potencia de salida deseada. La potencia de salida deseada se usa para determinar la velocidad de rotor y el par de torsión del motor.

5 Un programa de parámetros inicial puede establecerse en el inicio de la central de energía eólica. Durante el funcionamiento se actualizará la curva de potencia inicial. En cualquier momento dado, la central de energía eólica se hace funcionar basándose en un programa de parámetros actual. Según la invención durante el funcionamiento de la central de energía eólica se genera un programa de parámetros actualizado para sustituir al programa de parámetros actual.

10 Mediante la generación de un programa de parámetros actualizado el operario puede influir en el nivel de carga de fatiga en dicho tiempo futuro para adaptarlo a la condición de viento predicha y dar como resultado poder obtenerse un nivel de carga de fatiga deseado en el tiempo futuro.

15 En el documento EP1930855 se expone que según una realización descrita en el mismo, el sistema de control puede estar configurado para desplazar el punto de funcionamiento en la curva de potencia controlando el ángulo de paso de las palas de turbina para mitigar desequilibrios de carga basándose en una salida del procesador. El punto de funcionamiento modificado en la curva de potencia permite que el generador funcione por debajo de la potencia de régimen, no perdiendo de vista el estado de componentes de caja de engranajes, con el fin de optimizar el trabajo del generador basándose en la vida útil de los componentes de caja de engranajes.

20 Una curva de potencia convencional para un sistema de control de turbina eólica tal como se describe en el documento EP1930855 se diseña para conseguir una eficiencia de potencia óptima con un pico de C_p de modo que se consiga una salida de potencia máxima con una velocidad de viento diferente. Una curva de potencia convencional se denomina de manera frecuente potencia de régimen. Con la potencia de régimen se pretende una curva de potencia que dé como resultado una potencia de salida máxima. Un punto de funcionamiento de turbina real depende de la velocidad de viento. Cuando la velocidad de viento está por debajo de la velocidad de viento de régimen, la turbina se controla para obtener una salida de potencia máxima. Cuando la velocidad de viento alcanza la velocidad de viento de régimen o pasa a ser incluso mayor, la salida de potencia máxima se limitará y parte de la energía disponible en el viento se desperdiciará. La turbina se apagará cuando la velocidad de viento alcanza la velocidad de viento de desconexión por desalineación. Una curva de potencia actualizada según la invención dará como resultado que el punto de funcionamiento se desplace y que la salida de potencia máxima de turbina se limita a un nivel de potencia menor que el nivel de potencia de régimen. La salida de potencia del generador puede expresarse como: $P_g = \eta_g \omega_g T_g$, donde η_g es la eficiencia, ω_g es la frecuencia de rotación y T_g es el par de torsión. La reducción de P_g podría implementarse mediante la reducción de las rpm de generador y/o el par de torsión de generador dependiendo del diseño de detalle del sistema de control de turbina. La figura 1 muestra una curva de potencia típica de una turbina eólica de 1,5MW.

35 La migración de desequilibrio de carga mencionada en el documento EP1930855 a través de la reducción de salida de potencia máxima no sustituye ni corrige la curva de potencia y solo es efectiva cuando la velocidad de viento es mayor que un umbral de velocidad de viento correspondiente en la curva de potencia en el que el funcionamiento de la turbina eólica se realiza a potencia reducida. Cuando la velocidad de viento está por debajo del umbral de velocidad de viento no hay cambio de la carga.

40 De manera específica, puede usarse un programa de parámetros de reducción de régimen mediante el sistema de control de turbina para hacer funcionar la turbina de tal modo que la turbina puede continuar produciendo potencia hasta un punto en el tiempo en el que se consigue un mantenimiento óptimo. Esto tiene un impacto fundamental en el coste por kilovatio producido. Es decir, adaptando el programa de parámetros para dar como resultado un nivel de carga de fatiga deseado en un tiempo futuro, es posible controlar la turbina para que ralentice la tasa de propagación de fallo considerando una condición de viento predicha. Además, puede ser posible adaptar el programa de parámetros a los requisitos de programación de mantenimiento, producción de potencia y coste.

45 Habitualmente, los componentes de turbina tienen una vida útil de diseño deseada N_{eq} (ciclos hasta fatiga) bajo la carga de fatiga equivalente F_{eq} basándose en el material y estructura de componente. La contribución al nivel de carga de fatiga a una determinada condición de viento para un componente puede derivarse de un modelo establecido entre la carga en el componente y los datos de viento. El modelo se construirá basándose en los datos históricos. Ejemplos de cargas que pueden modelarse son carga de giro de pala y par de torsión de tren de potencia. La carga para los datos de viento predichos puede calcularse entonces basándose en este modelo. El modelo puede establecerse basándose en los datos históricos usando modelos de regresión. A continuación hay un ejemplo de modelo típico en que se usa para tal construcción de relación.

Ecuación 1

55
$$L_i(\theta) = a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_p X_{pi} + b_1 X_{1i}^2 + b_2 X_{2i}^2 + \dots + b_p X_{pi}^2 + \dots$$

En este caso, L_i se refiere a la carga calculada en el tiempo i con un ángulo de entrada de flujo θ . $a_1, a_2, \dots, a_p, b_1,$

b_2, \dots, b_p son los coeficientes que se deciden en el transcurso. $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi}$ son las variables que afectarán a la carga de componente de turbina. Habitualmente son velocidad de viento, dirección de viento, D.E. (desviación estándar) de velocidad de viento, o una combinación de las mismas, por ejemplo velocidad de viento / D.E. de velocidad de viento. Modelos de detalle para diferentes componentes de turbina y/o carga, el orden de la ecuación y el número de variables/parámetros usados puede ser diferente.

Una integración o suma de la carga del componente con respecto al tiempo hasta el final del intervalo de predicción sobre la carga del componente en función de la distribución de viento da como resultado por tanto un nivel de carga de fatiga del componente al final del intervalo de predicción.

Un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T puede determinarse con respecto a un programa de mantenimiento M . Un programa de mantenimiento M puede contener información acerca de eventos de mantenimiento futuros planificados. En particular, el programa de mantenimiento puede contener información acerca de la próxima vez que va a realizarse un mantenimiento y qué acciones deben llevarse a cabo en el próximo evento de mantenimiento. La optimización de mantenimiento decidirá el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ para el componente especificado. Con la entrada de predicción de velocidad de viento, el sistema de control de programa de parámetros calculará la nueva potencia de referencia de control de turbina eólica $P_{deseada}$, la referencia de ángulo de paso β_{ref} y la referencia de velocidad de generador ω_{ref} . La referencia de potencia / curva de potencia deseada se calcula basándose en el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ y datos de viento predichos V_w y puede expresarse generalmente como $P_{deseada} = H(V_w, F_{deseado})$.

La nueva referencia de potencia $P_{deseada}$ corresponde a una curva de potencia actualizada $P_{deseada}(v)$ que da como resultado un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ cuando se expone a una condición de viento predicha $V_w(t)$.

En particular el presente programa de parámetros puede usarse para determinar un nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ al final de un intervalo de predicción, final que corresponde al tiempo futuro mencionado anteriormente. El nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ se determina a partir de datos de viento predichos V_w . Los datos de viento predichos V_w incluyen información de velocidades de viento y direcciones de viento y opcionalmente también información acerca de fluctuaciones de velocidad de viento y turbulencia. Los datos de viento V_w pueden representarse como una distribución de velocidades y direcciones de viento durante el intervalo de predicción. Puede usarse una asignación entre condición de viento y carga sobre un componente a la hora de determinar el nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ sobre el componente en el tiempo futuro. La asignación puede derivarse, como se explicó anteriormente, a partir de un modelo que describe la dinámica de la central de energía eólica teniendo la condición de viento y un programa de parámetros presente como entrada.

En una función de determinación de optimización de mantenimiento puede calcularse el intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes del mantenimiento con el fin de conseguir un coste de mantenimiento y funcionamiento mínimo considerando la condición de velocidad de viento en los meses venideros. Basándose en este intervalo de tiempo deseado TD , se deriva un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en un punto final del intervalo de tiempo deseado en el correspondiente componente basándose en un cálculo de vida útil de fatiga de componente. Este nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el punto final del intervalo de tiempo deseado se usa como una entrada para calcular un programa de parámetros actualizado deseado $P_{deseada}(v)$. Para diferentes componentes pueden existir diferentes modos de fallo. Cada modo de fallo para cada componente puede tener una tasa de propagación de fallo específica dependiendo de la carga del componente. Por tanto, la relación entre la vida útil residual y la carga de fatiga en el componente es diferente para cada componente y modo de fallo. Se necesita una base de datos de relaciones que describen la tasa de propagación de fallo en función de la carga con diferentes modos de fallo de diferentes componentes en la turbina eólica, en forma de fórmula o en forma de tabla de límite de carga de fatiga y ciclo de vida útil residual. La base de datos puede construirse basándose en simulación y cálculo de diseño. Puede construirse también basándose en los datos históricos.

En el sistema de control de programa de parámetros, se calcularán un ángulo de paso β_{ref} , y la velocidad de generador objetivo ω_{ref} basándose en el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$. Finalmente, la referencia de potencia y curva de potencia deseadas pueden calcularse entonces con la expresión como $P = H(V_w, L_{deseada}) = C \cdot F(\beta_{ref}(L_{deseada}), \omega_{ref}(L_{deseada})/V_w)$. En la que C es un coeficiente que se refiere al tamaño de turbina eólica, y la ganancia de transmisión del rotor al generador. La función $F(\cdot)$ depende principalmente del diseño de la pala.

Basándose en una acción de mantenimiento seleccionada, la vida útil restante estimada con el ángulo de entrada de flujo específico puede elegirse para que coincida con la vida útil esperada, y puede usarse el ángulo de entrada de flujo correspondiente para calcular el valor de C_p y por tanto el programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ para el control de WTG.

Una manera de generar un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ adaptado para generar un nivel de carga de fatiga deseado en un tiempo futuro T es calcular un nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ en el tiempo futuro T cuando se expone a las condiciones de viento predichas $V_w(t)$ durante el intervalo de tiempo ΔT , comparar el nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ con el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T y generar el programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ basándose en esta diferencia.

5 El programa de parámetros de producción de potencia máxima inicial $P_{\max}(v)$ es una función de la velocidad de viento. El programa de parámetros actualizado puede expresarse como $P_{\text{deseado}}(v) = w(v)P_{\max}(v)$, donde w es una función ponderada que puede depender de la velocidad de viento y nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} . El nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} al final de un intervalo de predicción se determina a partir de la integración con respecto al tiempo y velocidad de viento sobre una asignación de una distribución de viento predicha por medio de un programa de parámetros para una carga sobre un componente.

10 Seleccionando una función ponderada apropiada puede conseguirse un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} al final del intervalo de predicción. No existe una solución única para la función ponderada. Puede seleccionarse para que sea una constante mediante lo cual el programa de parámetros actualizado deseado $P_{\text{deseado}}(v)$ es una proporción fija de un programa de parámetros inicial, es decir $w(v) = k$. Puede seleccionarse también para moderar la potencia a altas velocidades de viento más que a bajas velocidades de viento. Un ejemplo de una función de este tipo sería $w(v) = k_1 + k_2/v$. Puede seleccionarse también para moderar la potencia a velocidades de viento que son más frecuentes que velocidades de viento que no se predice que sean frecuentes.

15 Mediante la adaptación de la función ponderada a la diferencia entre niveles de carga de fatiga deseado y predicho en el tiempo futuro T , es posible generar un programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ que genera un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} de un componente de turbina eólica cuando se expone a una condición de viento predicha $V_w(t)$ durante un intervalo de tiempo ΔT .

20 El nivel de carga de fatiga predicho F_{predicho} corresponde a una vida útil residual R en dicho tiempo futuro T cuando se expone a las condiciones de viento predichas con el uso del programa de parámetros actual no actualizado $P_{\text{actual}}(v)$. La vida útil residual es una medida de durante cuánto se supone que va a poder funcionar un componente antes de la fatiga. El programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ puede ser una función de una diferencia entre dicha vida útil residual R y un tiempo T_M hasta el siguiente evento de mantenimiento en un programa de mantenimiento.

25 Además de adaptar un programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ para proporcionar un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} al final de un intervalo de predicción, la magnitud del nivel de carga de fatiga calculado al final del intervalo de predicción puede usarse para determinar la temporización del siguiente evento de mantenimiento. En esta realización de la invención se calcula una función de coste para programas de parámetros actualizados.

30 Generalmente el coste para un programa de parámetros equivale a la pérdida de potencia generada debido al perfil de potencia de régimen reducido. En caso de que una función ponderada sea una constante k entre 0 y 1, la proporción de pérdida en cantidades de energía producida es $1 - k$. El coste de mantenimiento según diversos modelos de mantenimiento incluye funcionamiento continuado de la planta de energía eólica a potencia de salida máxima, sustitución de componente antes de fallo de componente en un tiempo t , sustitución de componente en fallo o reducción de régimen de potencia de salida para retrasar la propagación de fallo lo suficiente para evitar el fallo antes del siguiente mantenimiento planeado. El coste de reducir el régimen de potencia de salida se compara con el coste para diferentes modelos de mantenimiento. Entonces, se selecciona un programa de parámetros óptimo con respecto al coste como el programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$.

35 Opcionalmente, pueden detectarse así datos de funcionamiento de un componente de turbina eólica a partir de los cuales puede determinarse un modo de fallo de un componente. Los datos de funcionamiento detectados pueden realizarse mediante sensores que miden la carga sobre los componentes tales como acelerómetros o sensores de par de torsión, y velocidad de turbina, velocidad y dirección de viento. Según la invención, la carga de fatiga sobre los componentes se calcula y predice basándose en el modelo de regresión que puede construirse basándose en los datos de funcionamiento históricos. El modelo se modificará de manera adaptativa y se ajustará con el tiempo usando los datos de funcionamiento detectados. La vida útil residual R de un componente puede estimarse cuando se detecta un fallo temprano de un componente.

40 Puede proporcionarse una entrada adicional acerca del nivel de vibración detectado en el componente a través de un sistema de monitorización de condición de componente. El nivel de vibración del componente se usa como retroalimentación instantánea para comprobar si la carga de componente se ha reducido de régimen o no mediante el programa de parámetros actualizado. Debería observarse un nivel de vibración inferior comparado con el nivel de vibración antes de la reducción de régimen cuando se implementa el programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$.

45 Opcionalmente, se calcula un intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes del mantenimiento de la central de energía, cuyo intervalo de tiempo deseado TD optimiza el coste de funcionamiento y mantenimiento considerando los datos de viento predichos V_w .

50 El nivel de carga de fatiga así determinado puede compararse, con el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} . Puede usarse una diferencia entre el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} y el nivel de carga de fatiga determinado como entrada para determinar un programa de parámetros actualizado deseado $P_{\text{deseado}}(v)$ que dará como resultado que se alcance el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} .

55 Por tanto, en una realización de la invención en primer lugar, puede darse un cálculo de un nivel de carga de fatiga

predicho F_{predicho} basándose en un programa de parámetros actual $P_{\text{actual}}(v)$, pudiendo determinarse entonces un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} para dicho tiempo futuro.

5 Inicialmente, se usará un programa de parámetros basándose en la producción de potencia máxima. Este programa de parámetros establece los límites para el nivel de potencia máxima definido para cada velocidad de viento. El programa de parámetros actualizado deseado se adaptará, por tanto, para dar una salida de potencia inferior que el programa de parámetros inicial.

10 Pueden detectarse datos de funcionamiento del componente de central de energía eólica y la presencia de una condición de fallo puede basarse en dichos datos de funcionamiento. Las etapas de iniciación, cálculo de un nivel de carga de fatiga predicho F_{predicho} y generación de un programa de parámetros actualizado adaptado puede realizarse en primer lugar después de detectarse una condición de fallo para un componente de potencia eólica.

Puede realizarse la evaluación de un nivel de carga de fatiga o una vida útil residual de dicho componente de turbina eólica basándose en dichos datos de funcionamiento tras la detección temprana de fallo de componente como base para la generación de un programa de parámetros actualizado.

15 El nivel de carga de fatiga de un componente puede usarse para estimar el número de ciclos real hasta la fatiga del componente. Tras la detección del fallo de componente, la vida útil restante de componente, es decir, la vida útil residual, puede estimarse basándose en la predicción de condición de viento a un ángulo de paso y esfuerzo cortante diferente.

Breve descripción de dibujos

A continuación se describirán realizaciones de la invención con referencias a dibujos adjuntos en los que,

20 la figura 1 muestra un diagrama de un programa de parámetros para producción de potencia óptima,

la figura 2 muestra un diagrama de un programa de parámetros para producción de potencia óptima y un programa de parámetros actualizado basándose en una vida útil residual predicha determinada y/o una carga de fatiga predicha,

25 la figura 3 describe un diagrama de bloques de una primera realización de un sistema de gestión de potencia para una central de energía eólica,

la figura 4 describe un diagrama de bloques de una segunda realización de un sistema de gestión de potencia para una central de energía eólica,

la figura 5a muestra un diagrama de flujo en el que se presenta un control de mantenimiento óptimo,

30 la figura 5b muestra un diagrama de flujo para la reducción de régimen de un programa de parámetros en un método de control de mantenimiento óptimo tal como se describe en relación con la figura 5a,

la figura 6 describe una posible estructura de implementación del sistema para el control de programa de parámetros para una acción de mantenimiento óptimo, y

la figura 7 muestra un diagrama sobre el nivel de vibración en función de las horas de funcionamiento para diferentes condiciones de fallo de componentes de potencia eólica.

35 Descripción detallada

La figura 2 muestra un ejemplo de un programa de parámetros para control de turbina de ángulo de paso y velocidad variables. La figura muestra un programa de parámetros superior basado en la producción de potencia máxima y un programa de parámetros actualizado inferior adaptado a una carga de fatiga predicha de un componente.

Desde el punto A al B, la curva de potencia puede describirse de manera sencilla como,

$$40 \quad P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p(\lambda, \beta) V^3$$

En este caso, el coeficiente de potencia C_p es una función de λ y β . Según la invención el coeficiente de potencia C_p no seguirá el lugar geométrico de $C_{p\text{max}}$ para una salida de potencia de turbina máxima cuando se requiere reducción de régimen. El coeficiente de potencia C_p se calculará basándose en los valores de los coeficientes λ y β , que se determinan a partir de un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} según un tiempo futuro T . λ es la razón de velocidad de punta de la pala. β es la posición de paso de las palas, es decir, la rotación alrededor de un eje longitudinal de la pala. La carga del componente en la turbina eólica, tal como por ejemplo una pala, depende de λ y β . Mediante el cambio en el valor de λ y β basándose en el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} , se obtiene una curva de potencia actualizada $P_{\text{deseada}}(v)$ a partir del coeficiente de potencia. La curva de potencia actualizada

$P_{deseada}(v)$ puede establecerse para ser válida para una ventana de tiempo hasta el siguiente mantenimiento y puede determinarse a partir de diversas evaluaciones de carga de fatiga en diferentes componentes, donde puede seleccionarse una curva de potencia actualizada óptima $P_{deseada}(v)$ para un conjunto completo de componentes con respecto al coste de mantenimiento.

5 Desde el punto B' al C', la velocidad de rotación se acerca a su límite superior, la velocidad de rotación se regula en este valor cuando el viento aumenta hasta la velocidad de viento de régimen, que es la velocidad de viento a la que se inicia la producción de potencia máxima para la curva de potencia original. Para la curva de potencia actualizada $P_{deseada}(v)$, de manera similar, la velocidad de rotación se acerca al nuevo límite superior definido, y la velocidad de rotación se regula según la velocidad de viento de manera similar.

10 Desde el punto C al G, la salida de potencia se controla hasta el nuevo límite de potencia en el que C_p puede disminuir con el incremento de la velocidad de viento. El diseño de detalle de la curva de potencia desde C hasta D puede ser diferente para diferentes estrategias de control. Un objeto principal de la invención es que la potencia se controle dependiendo de un nivel de carga de fatiga futura estimado.

15 La figura 3 describe un diagrama de bloques de una primera realización de un sistema de gestión de potencia 10 para una central de energía eólica. En la primera realización, la información procedente de un bloque de control de optimización de mantenimiento genera la información necesaria para actualizar una curva de potencia. En un bloque de control de predicción de viento 12 se realiza una predicción de viento de datos de viento V_w para un intervalo de tiempo ΔT que se extiende a un tiempo futuro T. La predicción de viento puede proporcionarse a partir de servicios meteorológicos así como a partir de cálculos en el sitio. Los cálculos pueden realizarse mediante un método de atlas eólico tal como el presentado por Troen, I. y Lundtang Petersen, E. (1989) European Wind Atlas, Risø National Laboratory, o mediante un atlas eólico numérico específicamente adaptado para el sitio.

20 En el bloque de control de predicción de viento 12 se realiza la predicción de datos de viento V_w incluyendo velocidad de viento y dirección de viento durante un intervalo de predicción. Los datos de viento predichos V_w definen una condición de viento predicha $V_w(t)$ e incluyen información de velocidades de viento y direcciones de viento y opcionalmente también información acerca de fluctuaciones de velocidad de viento y turbulencia. Los datos de viento V_w pueden representarse como una distribución de velocidades y direcciones de viento durante el intervalo de predicción. La predicción de viento se basa en una predicción meteorológica y tiene un intervalo de predicción que se extiende durante un tiempo sustancial. El intervalo de predicción se extiende al menos varios días, de manera adecuada una o más semanas y opcionalmente durante un mes o más.

30 El intervalo de predicción preferiblemente se extiende hasta el tiempo que falta hasta un evento de mantenimiento futuro. Por este motivo el bloque de control de predicción de viento puede recibir datos entrantes desde un bloque de control de optimización de mantenimiento 14, en el que puede determinarse una programación de eventos de mantenimiento basándose en el funcionamiento de la central de energía eólica y en la condición de viento predicha $V_w(t)$.

35 Se proporciona un bloque de control de cálculo de nivel de carga de fatiga deseado 13, en el que se determina un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en un tiempo futuro T. El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T puede determinarse con respecto a un programa de mantenimiento. El bloque de control de cálculo de nivel de carga de fatiga deseado 13 puede ser, por tanto, una parte del bloque de control de optimización de mantenimiento 14. Opcionalmente, se calcula un intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes de un mantenimiento de la central de energía, intervalo de tiempo deseado TD que optimiza el coste de funcionamiento y mantenimiento considerando datos de viento predichos V_w . La optimización de mantenimiento puede calcular así el intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes de un mantenimiento con el fin de conseguir un coste de funcionamiento y mantenimiento mínimo considerando la condición de velocidad de viento en los meses venideros.

45 El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ puede calcularse basándose en información acerca de fatiga y carga sobre los componentes. Tales cálculos se conocen bien en la técnica y pueden estar basados por ejemplo en los cálculos y gráficos descritos en relación con la figura 7. Basándose en este intervalo de tiempo deseado TD, el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el correspondiente componente se deriva basándose en un cálculo de vida útil de fatiga de componente. El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ se usa como entrada para el cálculo de un programa de parámetros actualizado deseado $P_{deseado}(v)$. Dado que para diferentes modos de fallo para componentes diferentes, la relación entre la vida útil residual y la carga de fatiga es diferente, se necesita una base de datos de tales relaciones para diferentes modos de fallo de diferentes componentes en la turbina eólica en forma fórmula o en forma de tabla de límite de carga de fatiga y ciclos de vida útil residual. Esta relación puede construirse basándose en simulación y cálculo de diseño. También puede construirse basándose en los datos históricos.

55 El nivel de carga de fatiga deseado calculado $F_{deseado}$ sirve como entrada al bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18. En el bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18, se genera un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$. El programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ es una función del nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$. El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ puede determinarse con respecto al tiempo deseado antes de mantenimiento calculado en el bloque de control de optimización de mantenimiento 14 para cada componente especificado. Además, se recopila información acerca de la condición de

viento predicha $V_w(t)$ desde el bloque de control de predicción de viento 12 para servir como base para el cálculo de un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$.

5 El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ puede decidirse basándose en el tiempo hasta el fallo catastrófico o mantenimiento programado durante la temporada de viento bajo. Este tiempo se decidirá basándose en el algoritmo para mantenimiento óptimo, que calculará el mejor momento para el mantenimiento programado basándose en el coste de visita, coste de componentes afectados, condición de viento, producción de potencia de turbina, etc. El programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ reducirá la carga sobre los componentes de turbina en detectados temprano como caja de engranajes, rotor de turbina, etc. Esto ayudará a reducir la tasa de propagación de fallo, y por tanto retrasará el fallo catastrófico de componente de turbina a un periodo en el que la velocidad de viento es baja y de ese modo se hace coincidir con el mejor momento para el mantenimiento de turbina.

10 Con la entrada de predicción de velocidad de viento, el bloque de control de cálculo de curva 18 calculará una nueva referencia de potencia de control de turbina eólica $P_{deseado}$, referencia de ángulo de paso β_{ref} y la referencia de velocidad de generador ω_{ref} . La referencia de potencia deseada se calcula basándose en el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ y los datos de viento V_w y puede expresarse generalmente como $P_{deseado} = H(V_w, F_{deseado})$.

15 Como se ha explicado anteriormente una nueva referencia de potencia $P_{deseada}$ corresponde a un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ que da como resultado un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ cuando se expone a una condición de viento predicha $V_w(t)$.

20 Basándose en el programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ un controlador de potencia y velocidad 20 para una central de energía eólica está dotado de señales de control en forma de referencia de velocidad de generador ω_{ref} , la referencia de potencia actualizada $P_{deseada}$, y la referencia de ángulo de paso β_{ref} .

El controlador de potencia y velocidad 20 anticipa información a un controlador de paso individual 22 que genera un punto establecido de paso individual para la pala T respectiva.

25 El ángulo de paso individual se alimenta a actuadores 24a en la central de energía eólica que controla el ángulo de paso de las palas. El controlador de potencia y velocidad controla además la velocidad de rotación del rotor de una manera convencional alimentando señales de control a controladores de velocidad de rotación 24b en la central de energía eólica.

Pueden retroalimentarse señales de aceleración, velocidad de rotación y posición de rotación por medio de un dispositivo de amortiguación 26 de una manera convencional para el control de la turbina eólica.

30 La figura 4 describe un diagrama de bloques de una segunda realización de un sistema de gestión de potencia 10 para una central de energía eólica. En la segunda realización de la invención información procedente del bloque de control de predicción de viento sirve como base para un cálculo de un nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ en el tiempo futuro T, nivel de carga de fatiga que es una base para el cálculo de un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ basándose en una diferencia entre el nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ y un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T.

35 En un bloque de control de predicción de viento 12 se realiza una predicción de viento de datos de viento V_w para un intervalo de tiempo ΔT que se extiende hasta un tiempo futuro T. La predicción de viento puede proporcionarse a partir de servicios meteorológicos así como de cálculos en el sitio. Los cálculos pueden realizarse mediante un método de atlas eólico como el presentado por Troen, I. y Lundtang Petersen, E. (1989) European Wind Atlas, Risø National Laboratory, o mediante un método de atlas eólico numérico adaptado específicamente para el sitio.

40 En el bloque de control de predicción de viento 12 se realiza el cálculo de datos de viento V_w incluyendo velocidad de viento y dirección de viento para un intervalo de predicción. Los datos de viento predichos V_w incluyen información de velocidades de viento y direcciones de viento y opcionalmente también información acerca de fluctuaciones de velocidad de viento y turbulencia. Los datos de viento V_w pueden representarse como una distribución de velocidades y direcciones de viento durante el intervalo de predicción.

45 El intervalo de predicción se extiende preferiblemente hasta el tiempo que falta hasta un evento de mantenimiento futuro. Por este motivo el bloque de control de predicción de viento puede recibir datos entrantes desde un bloque de control de optimización de mantenimiento 14, pudiendo determinarse una programación de eventos de mantenimiento basándose en el funcionamiento de la central de energía eólica y en la condición de viento predicha.

50 En un bloque de control de predicción de nivel de carga de fatiga 16 el nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ de un componente de central de energía eólica en un tiempo futuro T se calcula basándose en la predicción de viento y un programa de parámetros presente.

55 Puede usarse una asignación entre condición de viento y carga sobre un componente a la hora de determinar el nivel de carga de fatiga sobre el componente en el tiempo futuro. La asignación puede derivarse de un modelo que describe la dinámica de la central de energía eólica teniendo la condición de viento y un programa de parámetros presente como entrada.

Habitualmente, los componentes de turbina tienen una vida útil de diseño deseada N_{eq} (ciclos hasta fatiga) bajo la carga de fatiga equivalente F_{eq} basándose en el material y la estructura del componente. La contribución al nivel de carga de fatiga a una determinada condición de viento para un componente puede derivarse de un modelo establecido entre la carga sobre la turbina y los datos de viento V_w para un programa de parámetros dado. El modelo se construirá basándose en los datos históricos. Ejemplo de cargas que pueden modelarse son carga de giro de pala y par de torsión de tren de potencia. La carga para los datos de viento predichos V_w puede calcularse entonces basándose en este modelo. El modelo puede establecerse basándose en los datos históricos usando modelos de regresión. A continuación se proporciona un ejemplo de un modelo típico que se usa para tal construcción de relación.

$$L_i(\theta) = a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_p X_{pi} + b_1 X_{1i}^2 + b_2 X_{2i}^2 + \dots + b_p X_{pi}^2 + \dots$$

Donde L_i se refiere a la carga calculada en el tiempo i con un ángulo de entrada de flujo θ . $a_1, a_2, \dots, a_p, b_1, b_2, \dots, b_p$ son los coeficientes que se deciden durante el transcurso. $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{pi}$ son las variables que afectarán a la carga de componente de turbina. Habitualmente son velocidad de viento, dirección de viento, D.E. (desviación estándar) de velocidad de viento, o una combinación de las mismas, por ejemplo velocidad de viento / D.E. de velocidad de viento. Los modelos de detalle para diferentes componentes de turbina y/o carga, el orden de la ecuación y el número de variables/parámetros usados podría ser diferente.

Una integración o suma sobre el tiempo hasta el final del intervalo de predicción sobre la carga del componente en función de la distribución de viento da como resultado por tanto un nivel de carga de fatiga del componente al final del intervalo de predicción.

Por tanto el nivel de carga de fatiga predicho $F_{predicho}$ para un componente i puede expresarse como:

$$F_{predicho} = \iint L_i(P) dW dt,$$

Donde L es la carga en el componente i para un programa de parámetros dado P y la integral es con respecto a la distribución de viento completa W con respecto a velocidad y dirección de viento y t es el tiempo en el que cada condición está presente.

El presente programa de parámetros $P_{presente}$ se recopila a partir de un bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18. El presente programa de parámetros suministrado desde el bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18 se usa para determinar nivel de carga de fatiga al final de un intervalo de predicción, cuyo final corresponde al tiempo futuro mencionado anteriormente.

$$F_{predicho} = \iint L_i(P_{Presente}) dW dt,$$

Se proporciona un bloque de control de cálculo de nivel de carga de fatiga deseado 13 en el que se determina un nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T . El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ en el tiempo futuro T puede determinarse con respecto a un programa de mantenimiento. Por tanto, el bloque de control de cálculo de nivel de carga de fatiga deseado 13 puede formar parte del bloque de control de optimización de mantenimiento 12. Opcionalmente se calcula un intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes del mantenimiento de la central de energía, intervalo de tiempo deseado TD que optimiza el coste de funcionamiento y mantenimiento considerando datos de viento predichos V_w . La optimización de mantenimiento puede calcular por tanto el intervalo de tiempo deseado TD que se necesita antes del mantenimiento con el fin de conseguir un coste de funcionamiento y mantenimiento mínimo considerando la condición de velocidad de viento en los meses venideros.

El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ puede calcularse basándose en información en relación con la fatiga y carga en los componentes. Tales cálculos se conocen bien en la técnica y pueden basarse, por ejemplo, en los cálculos y gráficos descritos en relación con la figura 7. Basándose en este intervalo de tiempo deseado TD , se deriva el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ sobre el correspondiente componente basándose en un cálculo de vida útil de fatiga de componente. El nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ se usa como entrada para un cálculo de programa de parámetros deseado. Dado que existen diferentes modos de fallo para diferentes componentes, y la relación entre la vida útil residual R y la carga de fatiga es diferente para diferentes modos de fallo y componentes, se necesita una base de datos de tales relaciones para diferentes modos de fallo de diferentes componentes en turbina eólica, en forma de fórmula o en forma de tabla de límite de carga de fatiga y ciclos de vida útil residual. Esta relación puede construirse basándose en simulación y cálculo de diseño. Puede construirse también basándose en los datos históricos.

El nivel de carga de fatiga deseado calculado $F_{deseado}$ sirve como entrada para el bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18. En el bloque de control de cálculo de programa de parámetros 18, se genera un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$. El programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ es una función del nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$. La optimización de mantenimiento puede decidir el nivel de carga de fatiga deseado $F_{deseado}$ para cada componente especificado.

- El nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} puede decidirse basándose en el tiempo hasta el fallo catastrófico o mantenimiento programado durante una temporada de viento bajo. Este tiempo se decidirá basándose en el algoritmo para mantenimiento óptimo, que calculará el mejor momento para el mantenimiento programado basándose en el coste de visita, coste de componentes afectados, condición de viento, producción de potencia de turbina, etc. El programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ reducirá la carga en los componentes de turbina con fallo detectado pronto como caja de engranajes, rotor de turbina, etc. Esto ayudará a reducir la tasa de propagación de fallo, retrasando por tanto el fallo catastrófico de componente de turbina al periodo en el que la velocidad de viento es baja y también el mejor momento para el mantenimiento de turbina.
- Con la entrada de predicción de velocidad de viento, el bloque de control de cálculo de curva 18 calculará una nueva potencia de referencia de control de turbina eólica P_{deseada} , referencia de ángulo de paso β_{ref} y la referencia de velocidad de generador ω_{ref} . La referencia de potencia deseada se calcula basándose en el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} y los datos de viento V_w y puede expresarse generalmente como $P_{\text{deseada}} = H(V_w, F_{\text{deseado}})$.
- Como se ha explicado anteriormente una nueva referencia de potencia P_{deseada} corresponde a un nuevo programa de parámetros $P_{\text{deseado}}(v)$ que da como resultado un nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} cuando se expone a una condición de viento predicha $V_w(t)$.
- Basándose en el programa de parámetros actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ un controlador de potencia y velocidad 20 para una central de energía eólica está dotado de señales de control en forma de referencia de velocidad de generador ω_{ref} , la referencia de potencia actualizada P_{deseada} , y la referencia de ángulo de paso β_{ref} .
- El controlador de potencia y velocidad 20 anticipa información a un controlador de ángulo de paso individual 22 que genera un punto establecido de ángulo de paso individual para una respectiva pala. T
- El ángulo de paso individual se alimenta a actuadores 24a en la central de energía eólica que controla el paso de las palas. El controlador de potencia y velocidad controla además la velocidad de rotación del rotor de manera convencional alimentando señales de control a controladores de velocidad de rotación 24b en la central de energía eólica.
- Pueden retroalimentarse señales de aceleración, velocidad de rotación y posición de rotación por medio de un dispositivo de amortiguación 26 de manera convencional para el control de la turbina eólica.
- En las figuras 5a y 5b se presenta un cuadro de flujo para un control óptimo de mantenimiento.
- La figura 5a describe el diagrama general y la figura 5b describe las etapas que han de realizarse en caso de seleccionar un modo de mantenimiento que incluye la reducción de régimen del programa de parámetros.
- Cuando se detecta un modo de fallo temprano de componente de turbina crítico pueden realizarse las siguientes etapas de método pueden realizarse:
- Etapa 1. El sistema obtendrá la información del fallo detectado desde la base de datos de modos de fallo de turbina y decidirá si el modo de fallo de componente detectado puede conseguir una extensión de la vida útil restante o no, si se reduce la carga de fatiga que actúa sobre el componente. La indicación de reducción de régimen se establecerá a 1 si puede reducirse el régimen del modo de fallo y se establecerá a 0 en caso contrario.
- Etapa 2. En una etapa posterior se recupera la información de funcionamiento y mantenimiento acerca de un fallo detectado.
- Etapa 3. Se calculan los costes de funcionamiento y pérdida de beneficios según las diversas acciones / planes de mantenimiento.
- Etapa 4. El proceso de mantenimiento óptimo planificará entonces las posibles acciones/planes de mantenimiento basándose en las condiciones meteorológicas predichas. Se decidirán las mejores acciones/planes de mantenimiento basándose en el coste mínimo de funcionamiento y mantenimiento.
- Etapa 5. Se planificará el correspondiente pedido de partes/materiales, disposición de recursos, etc. según la acción de mantenimiento realizada. La quinta etapa incluye cuatro modos de mantenimiento diferentes:
- A) Si no ha de realizarse acción alguna, es decir, que la turbina debe controlarse según el programa de parámetros de funcionamiento actual y que no debe modificarse el programa de mantenimiento y servicio actual.
- B) Si debe realizarse mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo está constituido por la sustitución de un componente antes de la fatiga.
- C) Si debe realizarse mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo está constituido por la sustitución de un componente en el tiempo de la fatiga. Es decir debe monitorizarse la carga de fatiga y el programa de mantenimiento debe adaptarse a un tiempo hasta fallo considerado o detectado.

D) Si debe tener lugar una reducción de régimen del programa de parámetros con el fin de adaptar un tiempo de fatiga a un mantenimiento programado.

En la figura 5b se realizan las etapas 5 - 7 realizadas en caso de reducción de régimen del programa de parámetros:

5 Etapa 5. Para la decisión de la acción de reducción de régimen, el sistema propuesto continuará con el sistema de control de programa de parámetros, que calculará el nivel de carga de fatiga deseado de componente F_{deseado} para la correspondiente extensión de vida útil restante de componente con el fin de conseguir la acción de mantenimiento óptimo. La carga de fatiga calculada tendrá la forma $F(\omega_w)$ donde ω_w es la velocidad de viento.

10 Etapa 6. El programa de parámetros de turbina actualizado $P_{\text{deseado}}(V)$ se calculará entonces basándose en el nivel de carga de fatiga deseado F_{deseado} sobre el componente en fallo detectado según el diseño de sistema de control de WTG.

Etapa 7. El controlador de WTG controlará la regulación de ángulo de paso de controlador y la salida de potencia de generador a diferentes velocidades de viento según el programa de parámetros definido actualizado $P_{\text{deseado}}(v)$ para el controlador de WTG. Por tanto, se consigue la carga de fatiga objetivo en el componente.

15 El sistema de monitorización de condición de turbina continuará la gravedad particular de fallo de componente y la retroalimentará al sistema.

El sistema de mantenimiento óptimo realizará de manera adaptativa una acción de mantenimiento correctiva o preventiva basándose en el estado de turbina y la condición atmosférica.

20 Todo el sistema puede proporcionarse como un sistema de bucle cerrado que monitorizará detenidamente el estado de componentes críticos y realizará de manera adaptativa una correspondiente acción de mantenimiento óptimo para controlar el programa de parámetros de WTG de modo que se consigue la reducción de régimen deseada sobre los componentes en fallo detectados con carga de fatiga objetivo.

25 La figura 6 describe una posible estructura de implementación del sistema para el control de programa de parámetros para una acción de mantenimiento óptimo. El sistema incluye un bloque de control de decisión de mantenimiento óptimo 40 que se basa en información procedente de una base de datos de información de funcionamiento de turbina 42 y un sistema de monitorización de condición de turbina 44 determina una estrategia de mantenimiento para la central de energía eólica. La base de datos de información de funcionamiento de turbina 42 incluye información acerca de un programa de servicio y mantenimiento de turbina, tiempo de espera de suministro de piezas de repuesto, coste de reparación, costes de material, pérdida de beneficios por mantenimiento e interrupciones de producción. El sistema de monitorización de condición de turbina 44 incluye un conjunto de
30 sensores que proporcionan información acerca de datos de funcionamiento Ψ tales como temperatura, vibraciones, carga, velocidad de viento y dirección de viento. El sistema de monitorización de condición de turbina 44 incluye además un bloque de control de detección de fallo que proporciona información acerca de modos de fallo de componentes desde una base de datos de modos de fallo 46. Basándose en la información proporcionada desde la base de datos de información de funcionamiento de turbina 42 y el sistema de monitorización de condición de turbina 44, el bloque de control de decisión de mantenimiento óptimo 40 determina qué acción ha de realizarse. El
35 bloque de control de decisión de mantenimiento óptimo 40 difiere entre los siguientes cuatro modos de funcionamiento:

A) Si no ha de realizarse acción alguna, es decir, que la turbina debe controlarse según el programa de mantenimiento de funcionamiento actual y que no debe modificarse el programa de mantenimiento y servicio actual.

40 B) Si debe realizarse mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo está constituido por la sustitución de un componente antes de la fatiga.

C) Si debe realizarse mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo está constituido por la sustitución de un componente en el tiempo de la fatiga. Es decir debe monitorizarse la carga de fatiga y el programa de mantenimiento debe adaptarse a un tiempo hasta fallo considerado o detectado.

45 D) Si debe tener lugar una reducción de régimen del programa de parámetros con el fin de adaptar un tiempo de fatiga a un mantenimiento programado.

50 Información procedente de los bloques de control de modo B y C se proporciona a un centro de servicio 48, donde se almacena la información acerca de intervalos de mantenimiento y programas de mantenimiento. El centro de servicio 48 está conectado a la base de datos de información de funcionamiento de turbina 42, el sistema de monitorización de condición de turbina 44 y la base de datos de modos de fallo 46 para actualizar información relevante acerca del estado de los componentes de la turbina.

Un bloque de control de monitorización de condición de viento 50 incluye un bloque de control de condición de viento actual 52 que monitoriza información acerca de las condiciones de viento actuales incluyendo velocidad de viento, fluctuaciones en la velocidad de viento y dirección de viento. El bloque de control de condición de viento actual 52

recupera su información de un conjunto de sensores, que pueden ser el conjunto de sensores incluidos en el sistema de monitorización de condición de turbina 44 o sensores ubicados en otros lugares. El bloque de control de condición de viento actual 52 también puede recuperar la información de una base de datos meteorológica. El bloque de control de monitorización meteorológica tiene además una base de datos de viento históricos 54 desde donde puede recuperarse la condición de viento en un tiempo anterior. También se proporciona un bloque de control de predicción de viento 56. El bloque de control de predicción de viento 56 puede recuperar información de una base de datos meteorológica o basarse en información procedente de la base de datos de condición de viento históricos 54, posiblemente con ajustes dependiendo de la condición atmosférica actual. Información procedente del bloque de control de monitorización meteorológica 50 acerca de una condición atmosférica predicha se reenvía a un bloque de control de cálculo de carga de componente de fatiga 58. El bloque de control de cálculo de carga de componente de fatiga 58 evalúa la carga de fatiga de los componentes en la turbina durante un espacio de tiempo hasta el siguiente evento de mantenimiento. En caso de que el nivel de carga de fatiga supere un nivel objetivo deseado, se determinará un programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ en un bloque de control de cálculo de perfil de programa de parámetros 60. Información acerca del programa de parámetros actualizado $P_{deseado}(v)$ se transmitirá al sistema de gestión de potencia 10 que controla el ángulo de paso y la velocidad de rotación de la turbina 62.

La figura 7 muestra un diagrama sobre el nivel de vibración en función de las horas de funcionamiento para diferentes condiciones de fallo de componentes de potencia eólica. Una ecuación correspondiente para expresar la relación de nivel de vibración de caja de engranajes, carga de fatiga y la vida útil residual de componente para un modo de fallo de detención de cojinete intermedio de caja de engranajes usando el método estadístico basado en datos históricos, puede expresarse como:

$$A_k = W_{0k} / (1 + W_{1k} T + W_{2k} T^2 + \dots)$$

Donde A_k es el nivel de vibración del componente al límite de carga de fatiga L_k , K se refiere al nivel de carga de fatiga equivalente. En el ejemplo que forma la base para el diagrama, $k = 4$ representa 4 límites de la carga de fatiga equivalente. W_{jk} son los factores ponderados que serán diferentes para límites de carga de fatiga K diferentes, tal como se muestra en la figura a continuación. J es el orden de la ecuación. ($j = 0, 1, 2$ para este ejemplo). El ejemplo muestra que, con el fin de conseguir una vida útil residual de 1,5 meses, el nivel de carga de fatiga deseado debería reducirse el 40% con respecto al límite de carga de fatiga de L_3 . Pueden establecerse diferentes componentes y modos de fallo, y un modelo estadístico de la relación totalmente diferente. Detectando datos de funcionamiento de un componente de turbina eólica particular puede determinarse una condición de fallo específica C_{ij} . En este caso C_{ij} representa la condición de fallo i para el componente j . Cuando está presente una condición de fallo específico, puede seleccionarse una ecuación correcta que determina el cálculo de la fatiga del componente de la base de datos.

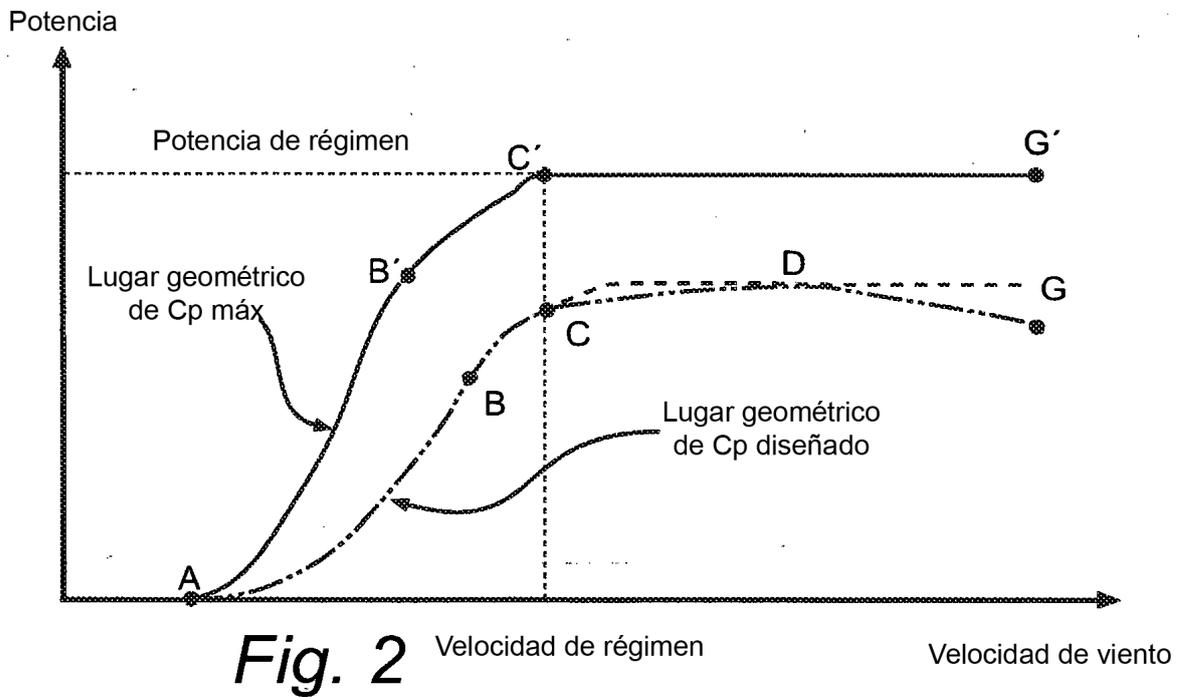
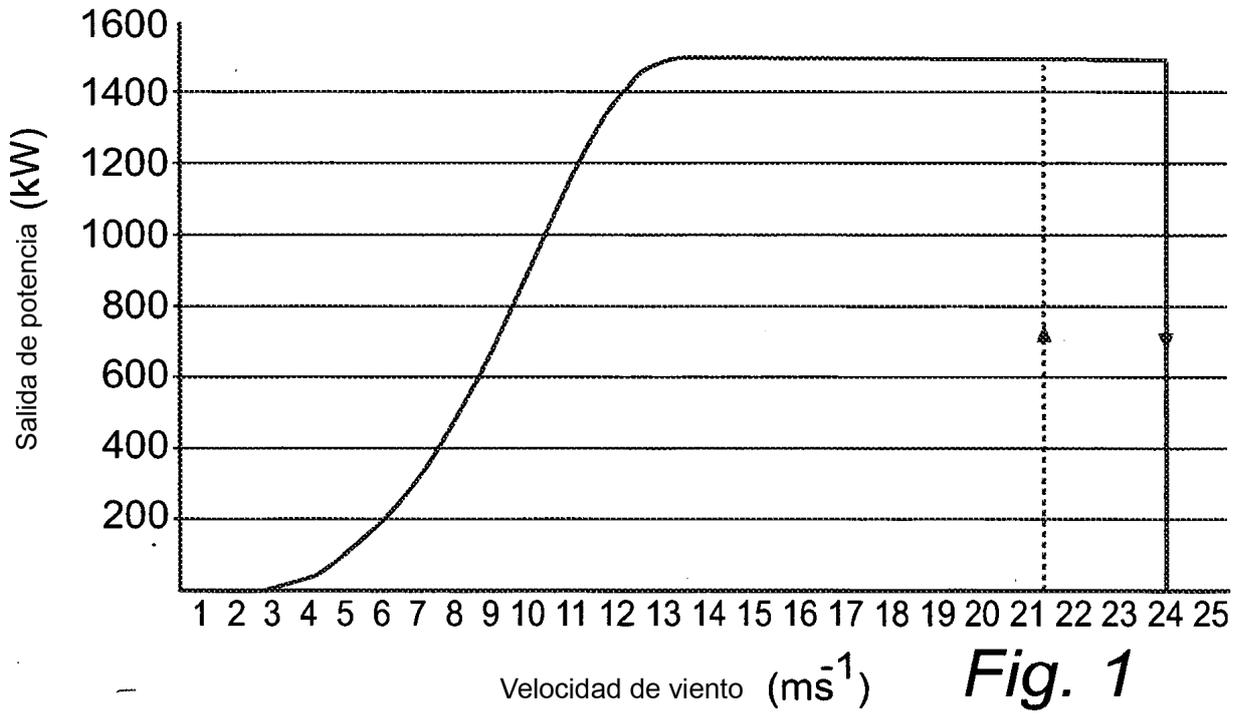
La siguiente ecuación muestra otra posible expresión no estadística de la vida útil residual para el modo de fallo de una grieta formada por el daño acumulado desde el punto de vista del diseño.

$$T = \frac{dD}{f(L/L_{material}, D_{actual}, \sigma)}$$

Donde L es el límite de carga de fatiga, $L_{materiales}$ es la resistencia a la tracción del material. D es el grado de daño actual que se decidirá a través del sistema de monitorización de condición. Es el intervalo de esfuerzo cíclico del componente. La función $f(.)$ puede definirse a través de cálculo y simulación de diseño de componente.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar una central de energía eólica que incluye una etapa de:
hacer funcionar la central de energía eólica según un programa de parámetros actual ($P_{actual}(v)$)
realizar una predicción de viento de datos de viento (V_w) para un intervalo de tiempo (ΔT) que se extiende hasta un tiempo futuro T, caracterizado por las etapas de método de:
5 determinar un nivel de carga de fatiga deseado ($F_{deseado}$) de un componente de central de energía eólica en el tiempo futuro T,
y durante el funcionamiento de dicha central de energía, generar un programa de parámetros actualizado ($P_{deseado}(v)$) para proporcionar el nivel de carga de fatiga deseado ($F_{deseado}$) en el tiempo T si se expone a las condiciones de viento predichas ($V_w(t)$) durante dicho intervalo de tiempo (ΔT).
10
2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por detectar datos de funcionamiento (Ψ) del componente de central de energía eólica y determinar si está presente una condición de fallo (C_{ij}) basándose en dichos datos de funcionamiento (Ψ).
3. Método según la reivindicación 2, caracterizado porque la iniciación de dichas etapas de determinación de un nivel de carga de fatiga deseado ($F_{deseado}$) y generación de un programa de parámetros actualizado ($P_{deseado}(v)$) se realizan después de detectarse una condición de fallo (C_{ij}).
15
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por determinar el nivel de carga de fatiga deseado ($F_{deseado}$) en el tiempo futuro T con respecto a un programa de mantenimiento.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por calcular un intervalo de tiempo deseado (TD) que se necesita antes del mantenimiento de la central de energía con el fin de optimizar el coste de funcionamiento y mantenimiento considerando la condición de viento predicha ($V_w(t)$).
20
6. Método según la reivindicación 5, caracterizado por determinar dicho tiempo futuro T a partir de dicho intervalo de tiempo deseado (TD).
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por calcular un nivel de carga de fatiga predicho ($F_{predicho}$) de dicho componente de central de energía eólica en dicho tiempo futuro T, nivel de carga de fatiga predicho ($F_{predicho}$) que es un nivel de carga de fatiga del componente de central de energía eólica en dicho tiempo futuro T cuando funciona según un programa de parámetros actual y está expuesto a las condiciones de viento predichas ($V_w(t)$) durante dicho intervalo de tiempo (ΔT).
25
8. Método según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho nivel de carga de fatiga predicho ($F_{predicha}$) corresponde a una vida útil residual (R) en dicho tiempo futuro T
30
9. Método según la reivindicación 7, caracterizado por generar dicho programa de parámetros actualizado ($P_{deseado}(v)$) en función de una diferencia entre dicha vida útil residual (R) y el siguiente evento de mantenimiento (TM) en un programa de mantenimiento (M).
10. Método según las reivindicaciones 8 ó 9, caracterizado por determinar dicho siguiente evento de mantenimiento (TM) dependiendo de dicha vida útil residual (R).
35
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por derivar dichos niveles de carga de fatiga deseado y/o predicho ($F_{deseado}, F_{predicho}$) de un modelo (Ecuación 1) que describe la carga de fatiga sobre dicho componente de central de energía eólica dependiendo de los datos de viento (V_w).



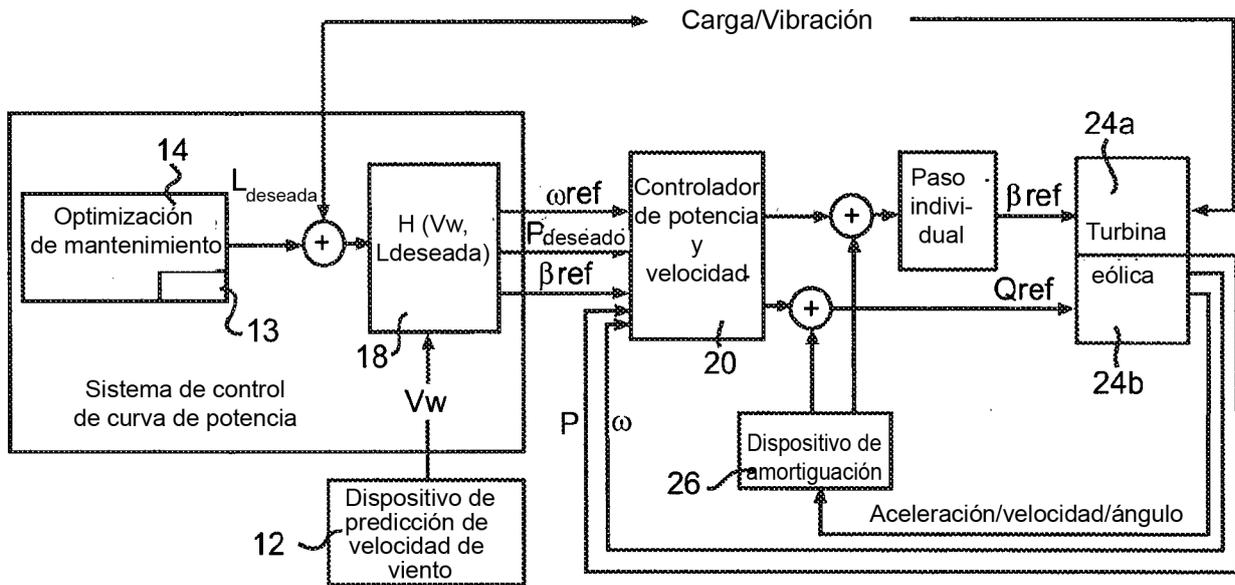


Fig. 3

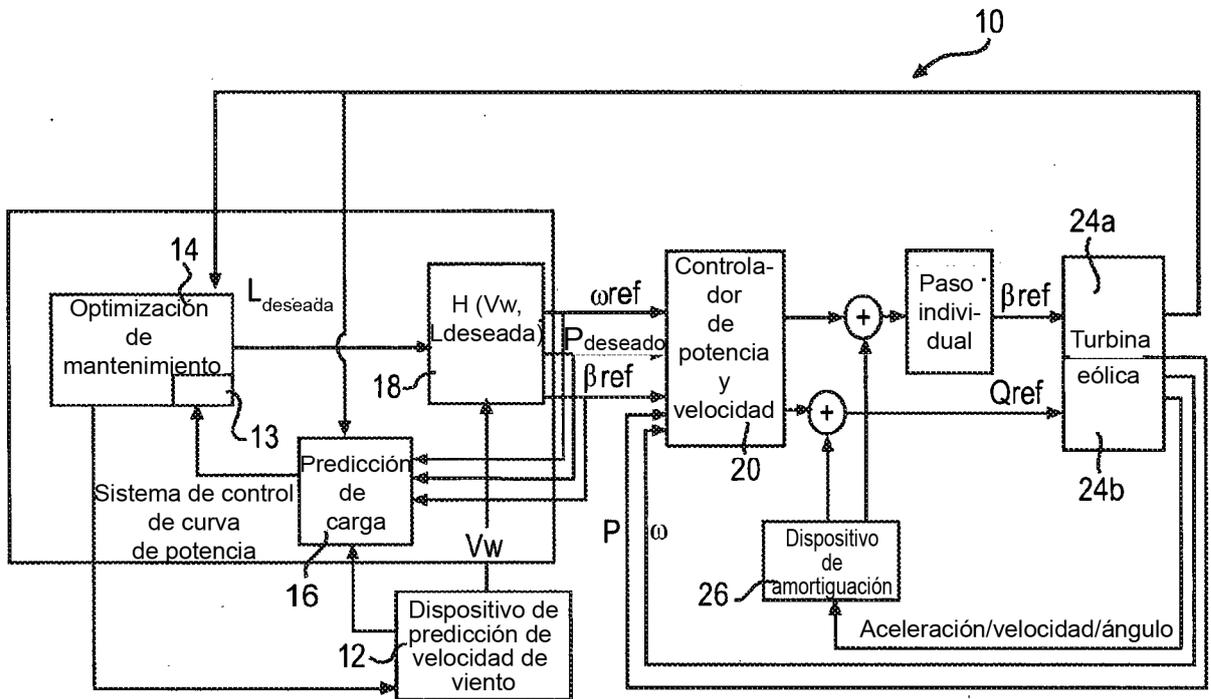


Fig. 4

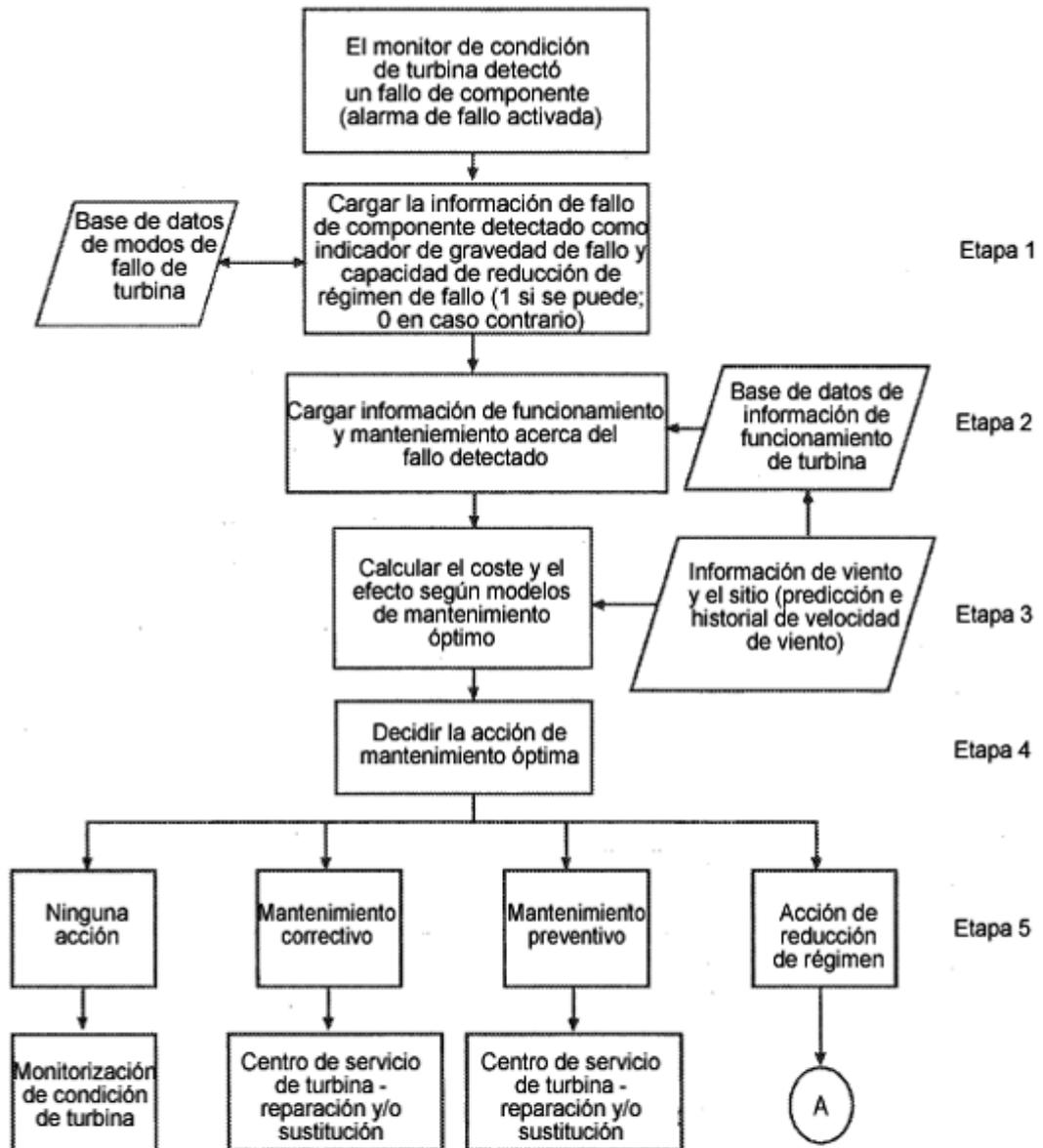


Fig. 5a

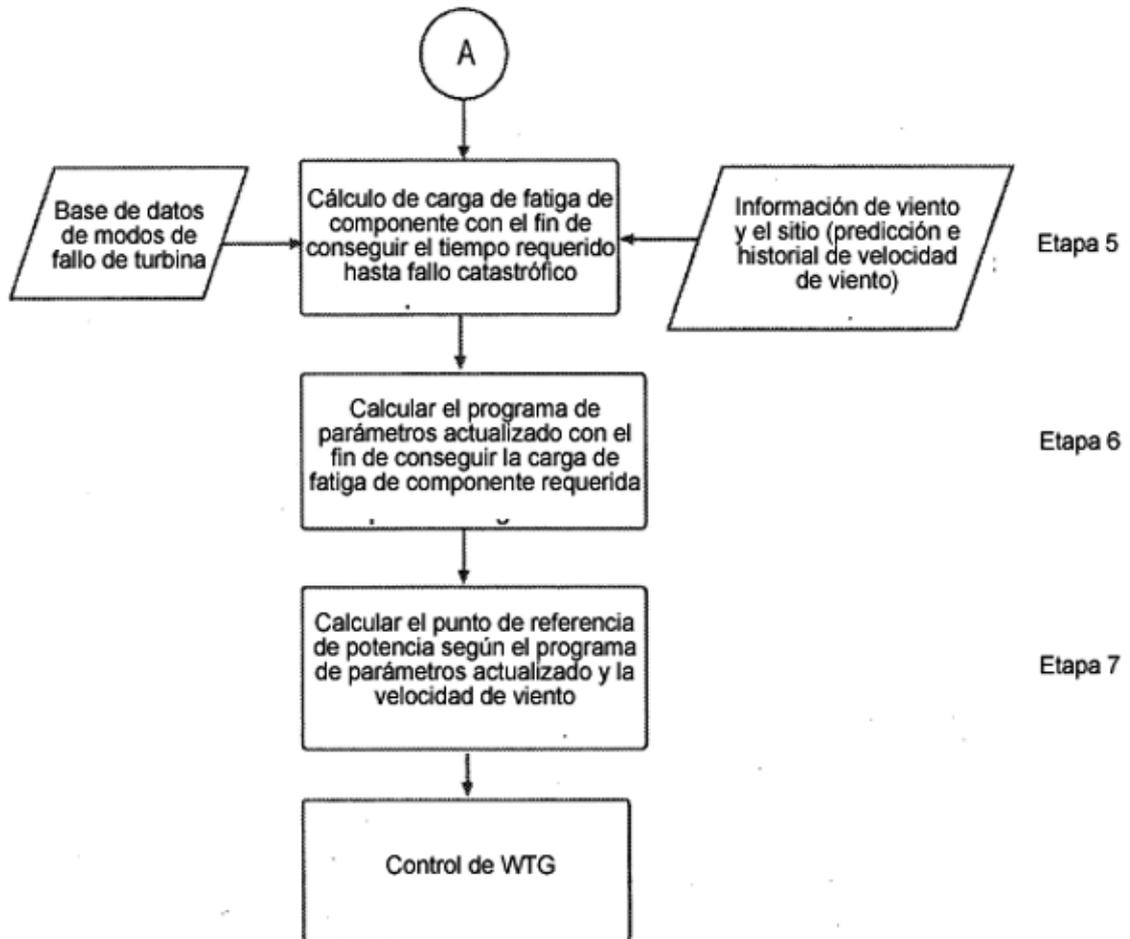


Fig. 5b

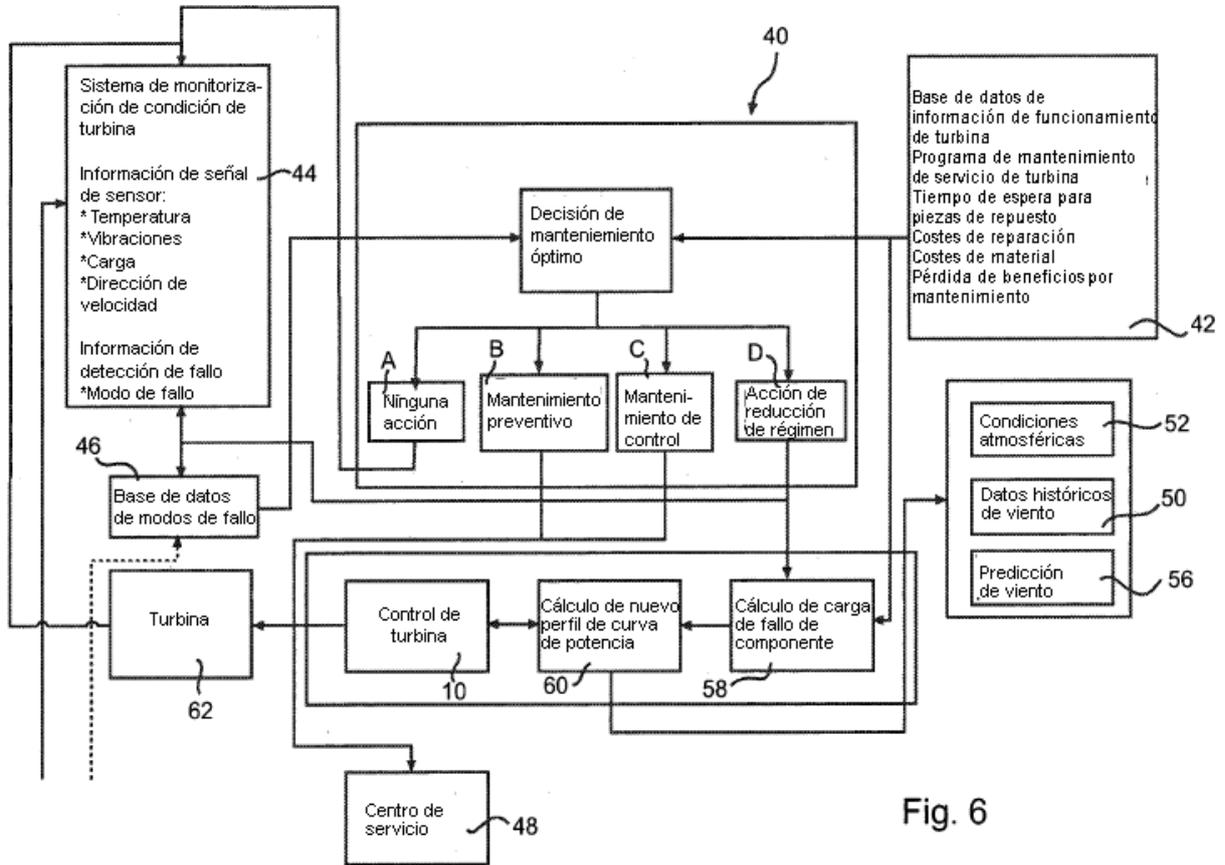


Fig. 6

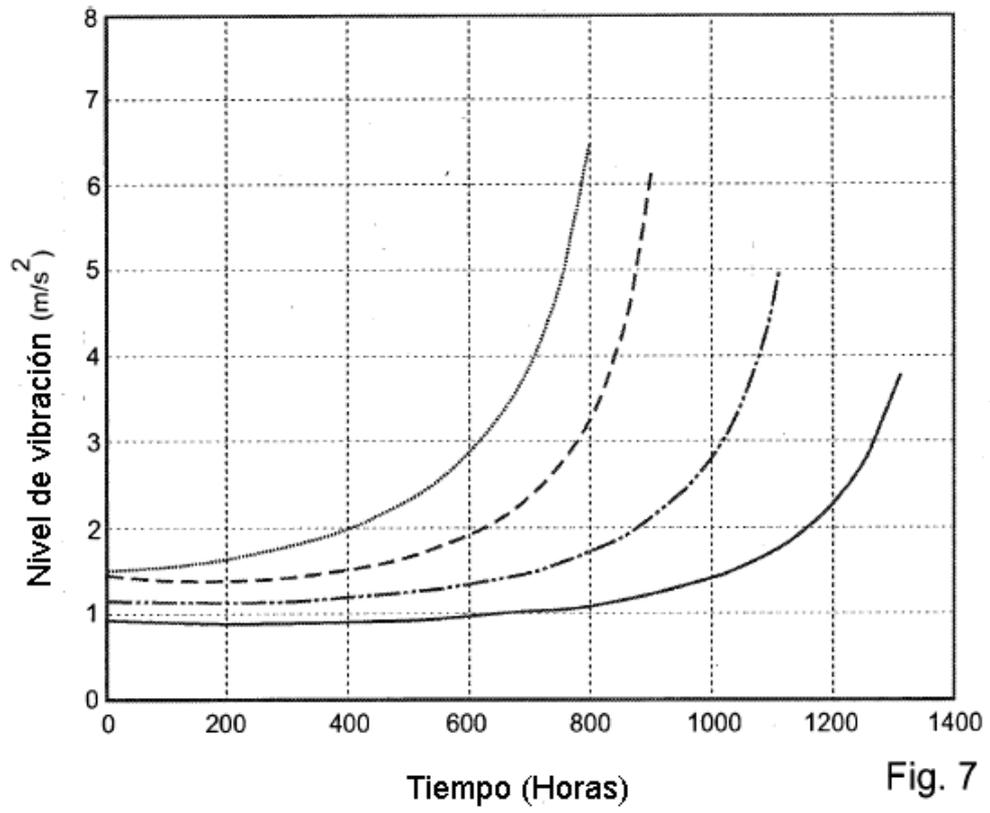


Fig. 7